心理学报 2021, Vol. 53, No. 10, 1105−1119
Acta Psychologica Sinica

https://doi.org/10.3724/SP.J.1041.2021.01105

基于自我参照编码的复合反应范式：有效鉴别有罪者和无罪知情者*

邓晓红[1] 李 婷[1] 薛 超[1] J. Peter Rosenfeld[2] 卢 洋[1]
王 莹[1] 展小飞[1] 鄢阁俊[1] 欧阳丹[1]

([1]湖北大学师范学院心理学系，武汉 430062，中国) ([2]美国西北大学心理学系，埃文斯顿 IL60201，美国)

摘 要 隐藏信息测试在司法实践中应用受限的主要原因是容易将知道犯罪相关信息的无罪知情者误判为有罪者，因此，需探索有效区分有罪者和无罪知情者、有罪者和无罪不知情者的测谎技术。复合反应范式(complex trial protocol, CTP)是一种能有效抵抗反测谎的隐藏信息测试，但尚未成功用于鉴别有罪者和无罪知情者。本研究设计了可同时测量EPN和P300的基于自我参照编码的CTP，每个试次的第一部分随机呈现探测刺激或无关刺激，第二部分随机呈现目标刺激(自己姓名)或非目标刺激(他人姓名)，要求被试在两个部分看到刺激时均做“与我有关”和“与我无关”的反应。结果表明，基于自我参照编码的CTP能有效区分有罪者和无罪知情者，EPN区分有罪者和无罪知情者的鉴别力优于P300，P300区分有罪者和无罪不知情者的鉴别力优于EPN。

关键词 自我参照编码，复合反应范式，无罪知情者，P300，EPN

分类号 B849: D917.2; B842

1 前言

目前，测谎技术在我国被用于犯罪侦查、民事纠纷调查及公司雇前调查等领域，但我国理论界和实务部门对测谎结论的法律地位未能达成一致，测谎结论的科学性问题一直是它难以获得认可的原因，因此，需不断提高测谎技术的科学性和准确性，促使测谎结论能早日进入司法证据体系。

隐藏信息测试(concealed information test, CIT)是一种具有较高内部效度的心理生理测谎方法，通过检测受测者是否有对犯罪相关信息的记忆来判断其是否对犯罪案件知情(Lu et al., 2017)。早期的CIT主要测量心率、呼吸和皮肤电反应等自主神经系统(autonomic nervous system, ANS)指标(ANS-CIT)。尽管ANS-CIT的研究取得了令人瞩目的成绩，但一些研究结果之间尚存在分歧(Ben-Shakhar, 2012)，测试结果易受反测谎的影响(Meijer et al., 2014)。Rosenfeld等人(1988)将P300引入CIT后，诞生了事件相关电位(event-related potential, ERP) CIT测谎技术(ERP-CIT)。

CIT测试结果可作为日本刑事法庭采信的证据(Osugi, 2018)，但西方国家很少使用CIT，主要原因是CIT容易将无罪知情者(通过看电视新闻、读报纸、目击犯罪现场等途径知道犯罪相关信息的无辜者)误判为有罪者(Bradley et al., 2011)。另外，采用CIT检测出真正的罪犯时，一些罪犯会狡辩说自己没有犯罪，而是通过看电视、读报纸等途径知道了犯罪相关信息，所以才被检测为有罪。因此，CIT要广泛应用于司法实践，需要不断提高对有罪者和无罪知情者的鉴别力和正确检测率。

以往一些研究者尝试采用ANS-CIT区分有罪者和无罪知情者。在两项早期的研究中，主试让无罪知情组被试在与犯罪无关的情境中获悉犯罪相关信息，并控制欺骗对实验结果的影响，结果发现，

收稿日期：2019-11-13
* 教育部人文社会科学研究规划基金项目(17YJA190002)资助。
通信作者：邓晓红，E-mail: xiaohongdeng2001@163.com

可区分有罪组被试和无罪知情组被试(Giesen & Rollison, 1980; Stern et al., 1981), 但这两项研究没有设置无罪不知情组被试, 无罪知情组被试也不知道获悉的信息与犯罪有关。

随后, Bradley 和 Warfield (1984)改进了上述两个实验, 设置了一个有罪组、三个无罪知情组(目击者组、从媒体获悉犯罪相关信息的无罪知情组、与被害人接触获悉犯罪相关信息的无罪知情组)和一个无罪不知情组。让三个无罪知情组分别通过不同途径了解犯罪相关信息。为提高生态学效度, 使有罪组被试给予否定回答时是欺骗反应, 无罪知情组被试给予否定回答时是诚实反应, 他们将标准 CIT 范式改成 GAT 范式, 将强调犯罪相关信息的被动疑问句(如“某先生是被刀杀死的吗？”)改为强调犯罪行为的主动疑问句(如“是你用刀杀死了某先生吗？”)。结果发现, 有罪组和无罪不知情组的正确检测率均为 100%, 目击组和从媒体获悉犯罪相关信息的无罪知情组的正确检测率均为 75%, 与被害人接触获悉犯罪相关信息的无罪知情组的正确检测率仅为 25%。Elaad 和 Ben-Shakhar (1989)重新分析了 Bradley 和 Warfield (1984)的研究数据后发现, 将三个无罪知情组合并时, 检测无罪知情组的假阳性率超过 50%。后来, Bradley 等人(1996)发现, 使用标准 CIT 提问方式时, 由于无罪知情组被试给予否定回答时是欺骗反应, 增大了对犯罪相关信息和犯罪无关信息反应之间的差异, 因此, 检测无罪知情组被试的假阳性率高达 90%。当使用 GAT 提问方式时, 由于无罪知情组被试给予否定回答时是诚实反应, 因此, 检测无罪知情组被试的假阳性率下降, 但仍有 50%。另外, Gamer (2010)发现, 有罪组和无罪知情组被试对犯罪相关信息的反应没有差异, 如果无罪知情组被试能记住犯罪细节, 他们就很可能在 GAT 测试中被判为有罪。当被试对犯罪相关信息进行深度加工且有通过测试的动机时, 标准 CIT 和 GAT 都无法有效区分有罪者和无罪知情者。

由于 ANS-CIT 无法有效区分有罪者和无罪知情者(Nahari & Ben-Shakhar, 2011), 一些学者开始尝试使用 ERP-CIT 鉴别有罪者和无罪知情者(Winograd & Rosenfeld, 2014; Rosenfeld, Ozsan, et al., 2017)。

在 ERP-CIT 中, 一般都会呈现探测刺激(即犯罪相关信息, 如被偷戒指)和无关刺激(即犯罪无关信息, 如手表、耳环、手链、手镯等), 测量的指标通常为 P300, 反映对熟悉刺激的再认加工(Rosenfeld, 2011)。小概率的探测刺激在大概率无关刺激的序列中呈现。例如, 发生戒指被盗案件后, 如果需要在一些犯罪嫌疑人中找到偷盗者, 可以进行 ERP-CIT 测试。在一系列无关刺激(手表、耳环、手链、手镯、项链、胸针)组成的序列中, 以大约 14%的概率随机呈现探测刺激(戒指)。由于有罪者(偷盗者)具有对戒指的记忆, 大脑会对“戒指”产生反应, 探测刺激会比无关刺激诱发更高的 P300 波幅; 而无罪不知情者(不知道犯罪相关信息的无辜者)在两类刺激诱发的 P300 波幅之间的差异不显著。通过比较 Bootstrap 抽样后探测刺激与无关刺激 P300 波幅的差异来判断某受测者是否知道犯罪相关信息, 从而推断其是否为“有罪者”, 即进行个体诊断。一般来说, 在 0.9 以上的置信水平, 如果 Bootstrap 抽样后探测刺激 P300 的波幅显著大于无关刺激 P300 的波幅, 就可推断这个受测者为“有罪者” (Davydova et al., 2020; Deng et al., 2016; Lu et al., 2017; Sai et al., 2020; Zheng et al., 2019;)。

早期的 ERP-CIT 为三刺激范式(Rosenfeld et al., 1988), 包括目标刺激、探测刺激和无关刺激。在每个试次中, 随机呈现三种刺激中的任何一种, 要求被试对探测刺激、无关刺激按同一个键做反应, 对目标刺激按另一个键做反应。在这种范式中, 被试既要进行外显的目标刺激和非目标刺激的辨别任务, 还要进行内隐的探测刺激的觉察任务, 目标刺激和探测刺激会竞争注意资源, 有可能降低 P300 波幅和测谎的敏感性(Rosenfeld et al., 2008)。另外, 这种范式容易出现反测谎, 即被试为了干扰测试而采取的一些措施(Honts et al., 1996; Rosenfeld, 2011), 如呈现无关刺激时偷偷做出身体或心理的特殊反应, 此时的无关刺激就变成了隐蔽的目标刺激, 无关刺激诱发的 P300 波幅会增高, 导致探测刺激的 P300 波幅不一定会显著大于无关刺激 P300 的波幅, 就无法做出正确的个体诊断。

为了克服三刺激范式存在的问题, Rosenfeld 等人(2008)设计了复合反应范式(complex trial protocol, CTP)。在 CTP 测试中, 每个试次的第一部分随机呈现探测刺激或无关刺激, 要求被试看到探测刺激或无关刺激时按同一个键做反应, 表示“我看到了”; 第二部分随机呈现目标刺激(数字串“11111”)或非目标刺激(“22222”, “33333”, “44444”或“55555”), 要求被试看到目标刺激或非目标刺激时按不同的键做反应。由于第一部分是觉察任务, 被试在注意力不集中的情况下也可完成, 故需要设

置第二部分，要求被试完成辨别任务以维持其注意力。另外，将对探测刺激和无关刺激的觉察与对目标刺激和非目标刺激的辨别在时间上进行分离，可以使探测刺激获得更多的注意资源，提高探测刺激诱发的 P300 波幅，使 CTP 能有效抵抗反测谎(Rosenfeld et al., 2008; Rosenfeld et al., 2018)。测量 P300 的 CTP 检测有罪者的正确率达 90%以上，检测无罪不知情者的假阳性率低于 10%，鉴别有罪者和无罪不知情者的 ROC 曲线下面积(area under the curve, AUC)大于 0.9 (Hu et al., 2012; Rosenfeld et al., 2013)。但迄今为止，在学术期刊上公开发表的采用 ERP-CTP 区分有罪者和无罪知情者的论文仅检索到 2 篇。

Winograd 和 Rosenfeld (2014)要求有罪组被试完成模拟偷窃戒指的任务，无罪知情组被试通过指导语得知戒指失窃，无罪不知情组被试通过指导语得知有件物品失窃。结果发现，P300-CTP 检测有罪组的正确率为 100%，检测无罪知情组的假阳性率为 69%，区分有罪组和无罪不知情组的 AUC 为 0.956，但区分有罪组和无罪知情组的 AUC 仅为 0.654。Rosenfeld, Ozsan 等人(2017)的另一项 CTP 研究发现，有罪组和无罪知情组被试探测刺激诱发的 P300 波幅均显著大于无关刺激诱发的 P300 波幅，但该研究没有报告有罪组和无罪知情组的正确检测率。显然，这两项研究区分有罪者和无罪知情者的效果均不理想，主要原因是采用的范式都是 CTP，测量的指标均为反映对熟悉刺激再认加工的 P300 (Rosenfeld, 2011)，而有罪者和无罪知情者都知道犯罪相关信息，均能再认出探测刺激，故测量 P300 指标的 CTP 容易将无罪知情者误判为有罪者。

由上可见，只有利用有罪者和无罪知情者心理活动的差异，改良经典 CTP，才有可能找到鉴别他们的有效 ERP-CTP，为今后开展现场研究及 CIT 能广泛应用于司法实践奠定基础。而有罪者和无罪知情者对犯罪相关信息自我参照加工的程度可能存在差异。例如，在一起盗窃案件中，罪犯偷窃了一枚戒指，亲身经历了偷窃过程，有可能对戒指等犯罪相关信息进行与自我表征相联系的自动化加工即自我参照编码(Northoff et al., 2006)，经自我参照编码的信息为自传体信息(Cabeza & Jacques, 2007; Hu et al., 2015; Northoff et al., 2006)，可引起较大的自我参照效应(Yang et al., 2019)。而无罪知情者通过看见别人佩戴这枚戒指或者看过这枚戒指的广告等途径得知犯罪相关信息，不会产生较大的自我参照效应，因为个体认为某物品归自己所有时，才会对该物品产生自我参照编码，并在随后的再认过程中出现自我参照的加工活动(Turk, 2011)。早期后部负电位(early posterior negativity, EPN)可反映自我参照加工程度(Klein et al., 2015; Li et al., 2019)。研究表明，“与我有关”的信息会比“与他人有关”的信息诱发更高的 EPN 波幅(Li et al., 2019)。在枕颞区，与自我相关的面孔比他人面孔诱发更高的 EPN 波幅(Klein et al., 2015)。

因此，本研究对经典 CTP 进行改良，设计出可以同时测量 EPN 和 P300 指标的基于自我参照编码的 CTP，探讨该范式能否有效鉴别有罪者和无罪知情者、有罪者和无罪不知情者。在基于自我参照编码的 CTP 中，每个试次的第一部分随机呈现探测刺激或无关刺激，第二部分随机呈现目标刺激(自己姓名)或非目标刺激(他人姓名)，要求被试在两个部分看到刺激时均做“与我有关”和“与我无关”的反应。

我们预测：给有罪组被试呈现探测刺激时可出现自我参照效应，给无罪知情组和无罪不知情组被试呈现探测刺激时不会出现自我参照效应；EPN 区分有罪者和无罪知情者的鉴别力优于 P300，P300 区分有罪者和无罪不知情者的鉴别力优于 EPN，基于自我参照编码的 CTP 能有效区分有罪者和无罪知情者。

2　研究方法

2.1　被试

招募湖北大学本科生 56 名，有罪组、无罪知情组和无罪不知情组分别有 2 名、3 名、3 名被试因探测刺激诱发的脑电波叠加段数低于 30 段而被剔除，最终每组 16 名被试。三组被试的年龄分别为 20.13 ± 2.19 岁、21.56 ± 2.63 岁和 20.25 ± 2.11 岁，三组被试年龄差异不显著，F (2, 45) = 1.88, p = 0.164。所有被试的视力或矫正视力正常，无身体和精神疾病，无精神药物使用史。本研究获湖北大学教育学院伦理委员会批准，实验前被试需签署知情同意书，实验后获得 30 元报酬。

采用 G*Power 3.1 进行事前统计检验力分析(prior power analysis)预先确定样本量(Faul et al., 2007)。将 α 设定为 0.05，*power* 设定为 0.80 (Cunningham & McCrum-Gardner, 2007)，自我参照效应的效应量 η_p^2 = 0.19 (Wieser et al., 2014)。计算出本实验设计所需的样本量为每组 16 名有效被试。该样本量与以

往大量 CTP 研究的样本量一致(Lu et al., 2017; Rosenfeld, Ozsan, et al., 2017; Rosenfeld et al., 2018; Winograd & Rosenfeld, 2014; Zheng et al., 2019)。

2.2 实验设计

3 (组别: 有罪组、无罪知情组、无罪不知情组) × 2 (刺激类型：探测刺激、无关刺激)的两因素混合实验设计。组别为被试间变量，刺激类型为被试内变量。因变量为反应时、P300 波幅及潜伏期、EPN 波幅。

2.3 实验材料

探测刺激为有罪组被试偷的戒指，无关刺激为其它 6 种首饰(手表、耳环、手链、手镯、项链、胸针)，全部首饰的垂直和水平视角约为 4.37° × 3.94°。目标刺激为被试自己的名字，非目标刺激为其他人的名字，全部名字的水平和垂直视角约为 4.11° ×1.41°。实验前询问被试全部无关刺激以及他人名字对其有无特殊意义。如果被试回答说某无关刺激或他人名字对其有特殊意义，则需要更换无关刺激或他人名字。经 Photoshop 处理后，保持图片和图片之间、名字和名字之间亮度和对比度一致。

2.4 实验程序

各组被试完成测试前的实验任务后，再接受 CTP 测试，测试结束后进行实验后测。

2.4.1 测试前的实验任务

有罪组：主试一要求被试偷偷潜入一个办公室，在柜子中找到一个首饰盒，偷走首饰盒里的戒指，看清戒指后将其藏到一个安全隐秘的地方，然后回到实验室。主试一告知被试，办公室里的其他人不知道他/她在做实验，要求被试偷东西时尽量避免被抓住。一旦被抓住，要及时联系主试一帮助澄清事实。当被试打开首饰盒时，办公室里的其他人可能会问“你在干什么？”。在这种情况下，被试要撒谎说“我在帮别人拿东西”。如果被试没有说谎而是回答“我在做实验”，主试一会终止其实验。

无罪知情组：要求被试进入一个办公室，帮主试一从柜子里的首饰盒中取回一枚戒指。被试看清戒指后，需将戒指带回实验室。主试一告知被试，办公室里的其他人不知道他/她在做实验。当被试打开首饰盒时，办公室里的其他人可能会问“你在干什么？”。在这种情况下，被试要回答“我在做实验”。如果被试没有回答“我在做实验”，主试一会终止其实验。

无罪不知情组：要求被试进入一个办公室，帮助主试一从柜子里的首饰盒中取回一张明信片(首饰盒里没有戒指)，看清明信片后，将明信片拿回实验室。主试一告知被试，办公室里的其他人不知道他/她在做实验。当被试打开首饰盒时，办公室里的其他人可能会问“你在干什么？”。在这种情况下，被试要回答“我在做实验”。如果被试没有回答“我在做实验”，主试一会终止其实验。

2.4.2 CTP 测试

主试二对被试进行 CTP 测试，通过指导语告诉三组被试：“刚才办公室里发生了盗窃案，有件贵重物品被偷了。有人告诉我你去过办公室，因此你是犯罪嫌疑人，需要检测你是否偷了那件物品。如果测试结果显示你无罪，你会得到 200 元奖金；如果测试结果显示你有罪，你将得不到奖金。如果你偷了某物品，该物品就与你有关；如果你没偷某物品，即使见过或拿过它，它仍然与你无关。如果你偷了某物品，电脑上呈现它的图片时，你要否认这件物品与你有关，否则你会被检测为有罪，得不到奖金。如果你没偷任何物品，要根据真实情况按键，才会被检测为无罪，才能得到奖金。另外，在测试中要集中注意力，尽量看清每张图片和名字，主试会随时停止测试 8~10 次，询问你最后看到的首饰是什么。如果回答错误两次以上，就会终止你的测试”。

测试开始时，先呈现一个注视点“+” 1500 ms。在每个试次的第一部分随机呈现探测刺激或无关刺激 300 ms (探测刺激 ： 无关刺激 = 1 : 6)，要求被试看到刺激时，如果认为“与我有关”按左手鼠标左键，认为“与我无关”按左手鼠标右键；在每个试次的第二部分随机呈现目标刺激(自己姓名)或非目标刺激(他人姓名) 300 ms (目标刺激 ： 全部非目标刺激 = 1 : 1) (Rosenfeld, Ward, et al., 2017)，要求被试看到姓名时，如果认为“与我有关”按右手鼠标左键，如果认为“与我无关”按右手鼠标右键。按键反应在被试间进行平衡。每个试次的实验流程图见图 1。不同种类试次的数量见表 1，整个测试共 392 个试次，持续约 26 分钟。

2.4.3 实验后测

为保证有罪被试/无罪知情被试完成测试前实验任务时的确记住了所偷/所拿物品，在 CTP 测试结束后需要对他们进行实验后测，询问所偷/所拿物品的名称、主要材质、主要颜色、大概值多少钱等。如果被试的回答明显不合情理，这名被试的数据不纳入统计。56 名被试中，没有人因回答不合理而被剔除。

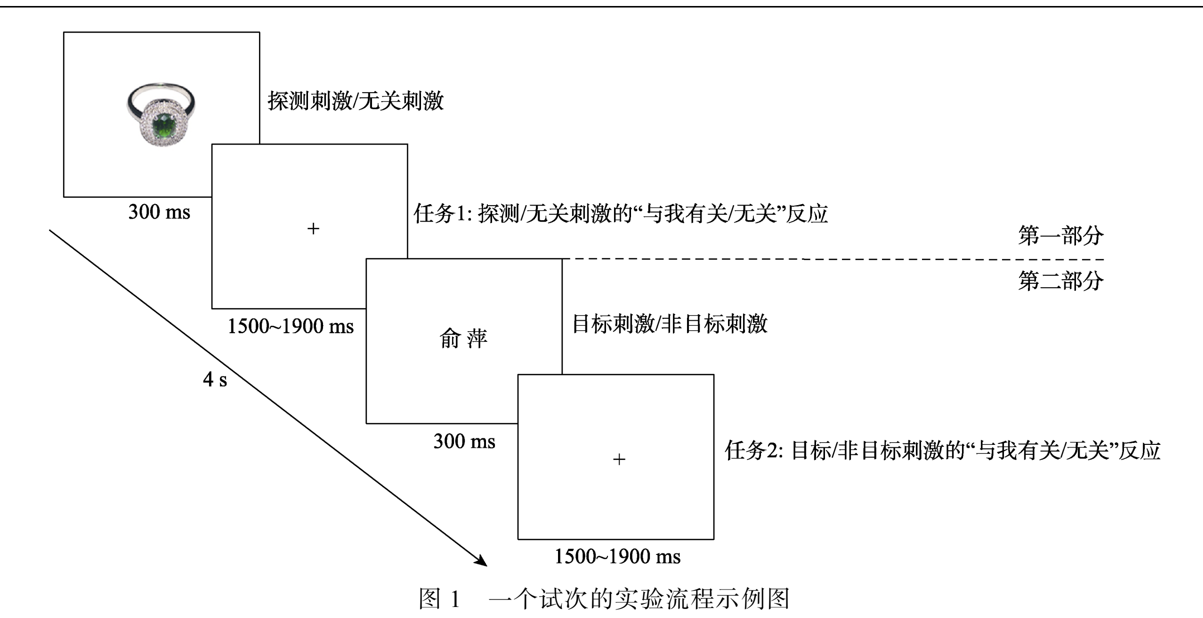


图 1　一个试次的实验流程示例图

表 1　不同种类试次的数量

试次种类	重复次数	总数
探测刺激−目标刺激	28	28
探测刺激−非目标刺激(4 种)	7	28
无关刺激(6 种)−目标刺激	28	168
无关刺激(6 种)−非目标刺激(4 种)	7	168

注：“无关刺激(6 种)−非目标刺激(4 种)”的试次表示第一部分呈现 6 种无关刺激中的任何一种无关刺激，第二部分呈现 4 个他人名字中的任何一个名字，其余以此类推。

2.5　EEG 记录

采用德国 Brain Product 公司基于国际 10-20 系统的脑电设备，用 BrainAmp 放大器、Ag/AgCl 电极记录脑电数据，电极与头皮之间的电阻保持在 5 kΩ 以下。接地电极是 AFz，参考电极是 FCz。眼电电极一个贴于被试右眼框下侧 1 cm 处，另一个贴于左眼外眦 1 cm 处，分别记录垂直和水平眼电。采样率为 500 Hz，放大器记录滤波带通范围为 0.01~100 Hz。

离线分析采用 Visual Brain Analyzer 2.0 完成，参考电极转换为双侧乳突电极，数字滤波 IIR 设置为 0.1~30 Hz，斜率为 24 db/Oct，并滤除 50 Hz 市电，采用独立成分分析法矫正眼电。波幅大于± 75 μV 被视为伪迹而被剔除。为保证 ERP 的信噪比，所有被试在矫正眼电和剔除伪迹后，每种条件下的叠加平均段数应超过 30 段，若低于 30 段，则剔除该被试的数据(Lu et al., 2017)。

2.6　数据处理

2.6.1　波幅及潜伏期

P300 波幅和潜伏期：由于 Pz 处 P300 的波幅最大且峰峰法检测隐藏信息的敏感性较高(Rosenfeld, 2011; Rosenfeld, 2019)，本研究采用峰峰法测量 Pz 处探测刺激和无关刺激诱发的 P300 波幅。以刺激出现前的 200 ms 为基线，选取 300~650 ms 中最正的 100 ms 段的平均电位作为 P300 的基峰值，以此减去 650~1300 ms 中最负的 100 ms 段的平均电位，就得到 P300 波幅。300~650 ms 中最正的 100 ms 段的中点为 P300 波峰出现的时间位置，P300 的潜伏期为刺激出现到该位置的时长。

EPN 波幅：由于 EPN 波幅的差异在头皮枕颞区最明显(Klein et al., 2015)，因此，本研究测量 P7、P8 处的 EPN 波幅。基于相关文献(Wieser et al., 2014; Klein et al., 2015)和本研究的总平均波形图和脑地形图，选取刺激出现后 250~350 ms 时间窗内的平均波幅作为探测刺激和无关刺激诱发的 EPN 波幅，刺激出现后 170~270 ms 时间窗内的平均波幅作为名字诱发的 EPN 波幅。因为 EPN 为负波，所以，波幅值越小，波幅越大。

2.6.2　组间分析

使用 SPSS 22.0 进行方差分析和 χ^2 检验，分析报告了均值与 95%的置信区间。为便于与其他研究进行比较，方差分析报告的效应量为偏 Eta 方(η_p^2)。

2.6.3　个体诊断方法

在以往大量 ERP-CIT (CTP)测试中，需通过个体诊断推断每名被试是否为“有罪者”或是否在撒谎，此时需回答一个问题：这名被试探测刺激和无关刺激 P300 波幅的差异大于零的概率是否大于 90%? (Rosenfeld & Donchin, 2015; Rosenfeld et al., 2016)。由于每名被试叠加平均后的探测刺激和无关刺激 P300 波幅的差异(P3DF)只有一个数据，且

每名被试无法重复接受 CTP 测试，故无法进行差异检验。另外，通过 *t* 检验直接比较叠加平均前探测刺激和无关刺激诱发的 P300 波幅，这种方法敏感性较低(Rosenfeld et al., 1991)。因此，以往测量 P300 指标的 CIT (CTP)研究通常采用 Bootstrap 抽样法。一般来说，在 0.9 以上的置信水平，如果某受测者 Bootstrap 抽样后探测刺激诱发的 P300 波幅显著大于无关刺激诱发的 P300 波幅，可推断该受测者为“有罪者” (Davydova et al., 2020; Deng et al., 2016; Klein Selle et al., 2017; Lu et al., 2017; Sai et al., 2020; Zheng et al., 2019)。与此类似，本研究采用的 EPN 个体诊断标准：在 0.9 以上的置信水平，如果某受测者 Bootstrap 抽样后探测刺激诱发的 EPN 波幅显著大于无关刺激诱发的 EPN 波幅，可推断该受测者为“有罪者”。个体诊断需要获得 BSDF-P300 和 BSDF-EPN 的分布，并计算 BSIT-P300 和 BSIT-EPN。

BSDF-P300：Bootstrap 抽样后探测刺激与无关刺激 P300 波幅的差异。对每名被试的脑电波叠加平均前，从所有探测刺激的脑电波中有放回地随机抽取 n1 段(n1 等于探测刺激脑电波的有效段数)，然后对抽出的 n1 段脑电波叠加平均，就得到一个 Bootstrap 抽样后探测刺激 P300 的波幅；同样，从所有无关刺激的脑电波中有放回地随机抽取 n2 段(n2 等于所有无关刺激脑电波的有效段数乘以探测刺激与无关刺激的比值，通常 n1 约等于 n2)，然后对抽出的 n2 段脑电波叠加平均，就得到一个 Bootstrap 抽样后无关刺激 P300 的波幅，这样就能得到一个 Bootstrap 抽样后探测刺激与无关刺激 P300 波幅的差值。重复上述过程 1000 次，可得到一个 Bootstrap 抽样后探测刺激与无关刺激 P300 波幅差值的分布，1000 个差值的平均值即为 BSDF-P300。

BSDF-EPN：Bootstrap 抽样后无关刺激与探测刺激在 P7、P8 两个电极点的平均 EPN 波幅的差异。合并 P7 和 P8 两个电极点的脑电波数据并计算平均值，对平均值进行 Bootstrap 抽样。得到 Bootstrap 抽样后无关刺激与探测刺激平均 EPN 波幅差值分布的过程同上，1000 个差值的平均值即为 BSDF-EPN。

BSIT-P300：Bootstrap 抽样后探测刺激 P300 波幅大于无关刺激 P300 波幅的次数。在 1000 次 Bootstrap 抽样中，如果探测刺激 P300 波幅大于无关刺激 P300 波幅的次数超过 900 次(BSIT-P300 > 900)，可认为该被试为“有罪者”。

BSIT-EPN：Bootstrap 抽样后探测刺激平均 EPN 波幅大于无关刺激平均 EPN 波幅的次数。在 1000 次 Bootstrap 抽样中，如果探测刺激平均 EPN 波幅大于无关刺激平均 EPN 波幅的次数超过 900 次(BSIT-EPN > 900)，可认为该被试为“有罪者”。

3 结果

3.1 反应时

3.1.1 探测刺激和无关刺激的反应时

剔除每名被试错误反应的反应时以及每种条件下± 3 个标准差之外的极端值，共剔除了 4.32% 的反应时数据。对反应时进行 2(刺激类型：探测刺激、无关刺激) × 3(组别：有罪组、无罪知情组、无罪不知情组)的两因素重复测量方差分析，结果表明：刺激类型主效应不显著，F (1, 45) = 1.59, p = 0.214，探测刺激(548 ms, [511, 585])和无关刺激(541 ms, [502, 580])反应时之间的差异不显著；组别主效应不显著，F (2, 45) = 2.35, p = 0.107，有罪组(599 ms, [534, 664])、无罪知情组(502 ms, [437, 568])和无罪不知情组(531 ms, [466, 596])反应时之间的差异不显著；刺激类型与组别之间的交互作用不显著，F (2, 45) = 0.16, p = 0.855。

3.1.2 自己名字和他人名字的反应时

剔除每名被试错误反应的反应时以及每种条件下± 3 个标准差之外的极端值，共剔除了 4.33% 的反应时数据。对反应时进行 2(刺激类型：自己名字、他人名字) × 3(组别：有罪组、无罪知情组、无罪不知情组)的两因素重复测量方差分析，结果表明：刺激类型主效应显著，F (1, 45) = 44.65, p < 0.001, η_p^2 = 0.50，自己名字的反应时(546 ms, [518, 574])显著短于他人名字的反应时(611 ms, [577, 646])；组别主效应不显著，F (2, 45) = 1.75, p = 0.186，有罪组(618 ms, [566, 670])、无罪知情组(559 ms, [508, 611])和无罪不知情组(559 ms, [507, 611])反应时之间的差异不显著；刺激类型与组别之间的交互作用不显著，F (2, 45) = 0.07, p = 0.932。

3.2 探测刺激和无关刺激诱发的 P300

图 2 为三组被试探测刺激和无关刺激诱发的 P300 的总平均 ERP。

3.2.1 P300 的潜伏期

对 P300 的潜伏期进行 2(刺激类型：探测刺激、无关刺激) × 3(组别：有罪组、无罪知情组、无罪不知情组)的两因素重复测量方差分析，结果表明：刺激类型主效应显著，F (1, 45) = 4.58, p = 0.038,

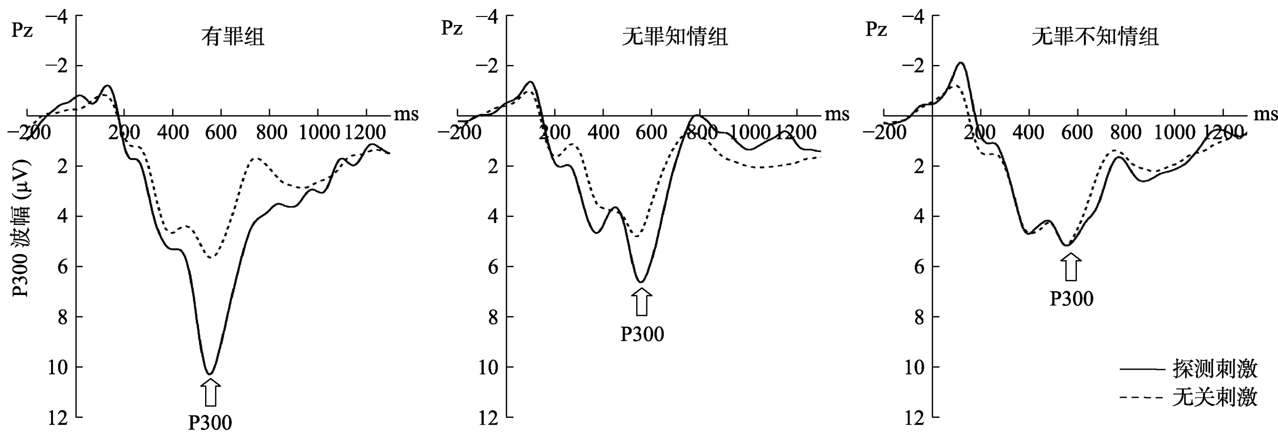


图 2　三组被试探测刺激和无关刺激诱发的 P300 的总平均 ERP

η_p^2 = 0.09, 探测刺激诱发的 P300 潜伏期(553 ms, [530, 577])显著长于无关刺激诱发的 P300 潜伏期(533 ms, [507, 559]); 组别主效应不显著, F (2, 45) = 0.26, p = 0.771, 有罪组(551 ms, [511, 591])、无罪知情组(546 ms, [507, 586])和无罪不知情组(532 ms, [492, 571]) P300潜伏期之间的差异不显著; 刺激类型与组别之间的交互作用不显著, F (2, 45) = 0.28, p = 0.758 (见图 3a)。

3.2.2　P300 的波幅

对 P300 的波幅进行 2(刺激类型: 探测刺激、无关刺激) × 3(组别: 有罪组、无罪知情组、无罪不知情组)的两因素重复测量方差分析, 结果表明: 刺激类型主效应显著, F (1, 45) = 64.31, p < 0.001, η_p^2 = 0.59, 探测刺激诱发的 P300 波幅(7.92 μV, [6.60, 9.24])显著高于无关刺激诱发的 P300 波幅(5.57 μV, [4.53, 6.60]); 组别主效应不显著, F (2, 45) = 0.63, p = 0.537, 有罪组(7.59 μV, [5.60, 9.58])、无罪知情组(6.04 μV, [4.05, 8.03])和无罪不知情组(6.60 μV, [4.61, 8.59]) P300波幅之间的差异不显著; 刺激类型与组别之间的交互作用显著, F (2, 45) = 15.92, p < 0.001, η_p^2 = 0.41。

对刺激类型与组别的交互效应进行简单效应分析, 结果表明: 有罪组探测刺激诱发的 P300 波幅(9.74 μV, [7.45, 12.02])显著高于无关刺激诱发的 P300 波幅(5.44 μV, [3.64, 7.23]), F (1, 45) = 71.55, p < 0.001, η_p^2 = 0.61; 无罪知情组探测刺激诱发的 P300 波幅(7.29 μV, [5.01, 9.58])显著高于无关刺激诱发的 P300 波幅(4.78 μV, [2.99, 6.58]), F (1, 45) = 24.35, p < 0.001, η_p^2 = 0.35; 无罪不知情组探测刺激诱发的 P300 波幅(6.73 μV, [4.44, 9.01])与无关刺激诱发的 P300 波幅(6.47 μV, [4.68, 8.27])之间的差异不显著, F (1, 45) = 0.25, p = 0.622。三组被试探测刺激诱发的 P300 波幅之间的差异不显著, F (2, 45) =1.99, p = 0.149; 三组被试无关刺激诱发的 P300 波幅之间的差异不显著, F (2, 45) = 0.91, p = 0.408 (见图 3b)。

3.2.3　BSDF-P300

对 BSDF-P300 进行单因素(组别: 有罪组、无罪知情组、无罪不知情组)的方差分析, 结果表明: 组别主效应显著, F (2, 45) =10.96, p < 0.001, η_p^2= 0.33, 有罪组(4.11 μV, [2.98, 5.24])与无罪知情组(2.38 μV, [1.25, 3.51])的 BSDF-P300 之间的差异不显著, p =0.201; 有罪组的 BSDF-P300 (4.11 μV,

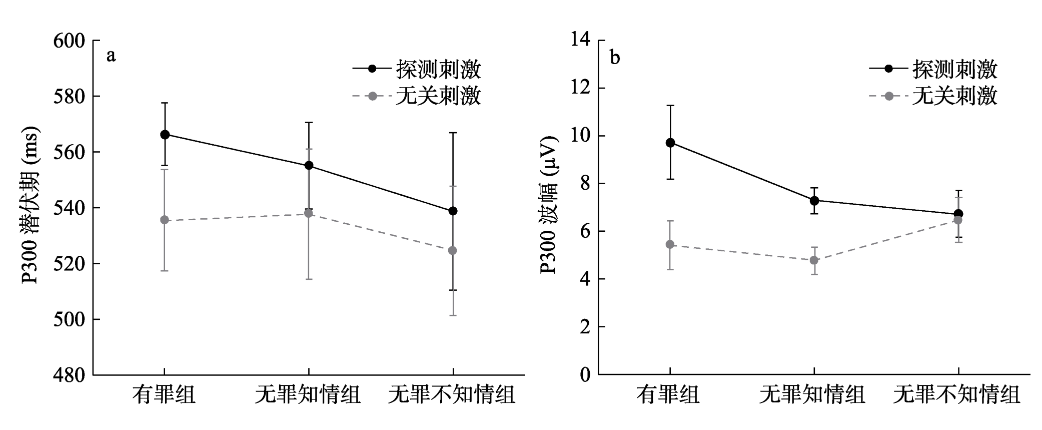


图 3　三组被试探测刺激与无关刺激诱发的 P300 的潜伏期(图 3a)和波幅(图 3b) (图中误差线为 ±1 倍的标准误)

[2.98, 5.24])显著大于无罪不知情组的 BSDF-P300 (0.40 μV, [−0.73, 1.53]), p = 0.001; 无罪知情组的 BSDF-P300 (2.38 μV, [1.25, 3.51])显著大于无罪不知情组的 BSDF-P300 (0.40 μV, [−0.73, 1.53]), p = 0.002。

3.2.4 BSIT-P300

对 BSIT-P300 进行单因素(组别: 有罪组、无罪知情组、无罪不知情组)的方差分析, 结果表明: 组别主效应显著, F (2, 45) = 13.98, $p < 0.001$, η_p^2 = 0.38, 有罪组(924.13, [824.68, 1023.57])与无罪知情组(863.63, [764.18, 963.07])的 BSIT-P300 之间的差异不显著, p = 0.391; 有罪组的 BSIT-P300 (924.13, [824.68, 1023.57]) 显著大于无罪不知情组的 BSIT-P300 (578.5, [479.06, 677.94]), $p < 0.001$; 无罪知情组的 BSIT-P300 (863.63, [764.18, 963.07])显著大于无罪不知情组的 BSIT-P300 (578.5, [479.06, 677.94]), $p < 0.001$。

3.3 探测刺激和无关刺激诱发的 EPN

3.3.1 探测刺激和无关刺激诱发的 EPN 波幅

图 4 为三组被试 P7、P8 电极点探测刺激和无关刺激诱发的 EPN 的总平均 ERP。

对 EPN 波幅进行 2(刺激类型: 探测刺激、无关刺激) × 3(组别: 有罪组、无罪知情组、无罪不知情组) × 2(电极位置: P7、P8)的三因素重复测量方差分析, 结果表明: 刺激类型主效应不显著, F (1, 45) = 0.74, p = 0.394, 探测刺激(4.53 μV, [3.86, 5.20])与无关刺激(4.66 μV, [4.02, 5.29])诱发的 EPN 波幅之间的差异不显著; 组别主效应不显著, F (2, 45) = 2.30, p = 0.112, 有罪组(4.68 μV, [3.59, 5.78])、无罪知情组(3.72 μV, [2.63, 4.82])和无罪不知情组(5.37 μV, [4.27, 6.46]) EPN 波幅之间的差异不显著; 电极位置主效应显著, F (1, 45) = 36.46, $p < 0.001$, η_p^2 = 0.45, P7 电极点的 EPN 波幅(3.37 μV, [2.68, 4.06])显著高于 P8 电极点的 EPN 波幅(5.81 μV, [5.00, 6.62]); 组别与刺激类型的交互作用显著, F (2, 45) = 4.26, p = 0.020, η_p^2 = 0.16; 刺激类型与电极位置的交互作用显著, F (1, 45) = 25.28, $p < 0.001$, η_p^2 = 0.36; 组别与电极位置的交互作用不显著, F (2, 45) = 0.54, p = 0.587; 组别、电极位置与刺激类型三者之间的交互作用不显著, F (2, 45) = 0.73, p = 0.486。

对组别和刺激类型的交互效应进行简单效应分析, 结果发现: 有罪组探测刺激诱发的 EPN 波幅(8.62 μV, [6.29, 10.94])显著高于无关刺激诱发的 EPN 波幅(10.12 μV, [7.93, 12.31]), F (1, 45) = 8.30, p = 0.006, η_p^2 = 0.16; 无罪知情组探测刺激(7.63 μV, [5.31, 9.95])与无关刺激(7.26μV, [5.07, 9.45])诱发的 EPN 波幅之间的差异不显著, F (1, 45) = 0.50, p = 0.485; 无罪不知情组探测刺激(10.91 μV, [8.59, 13.24])与无关刺激(10.55 μV, [8.37, 12.74])诱发的 EPN 波幅之间的差异不显著, F (1, 45) = 0.47, p = 0.497。三组被试探测刺激诱发的 EPN 波幅之间的差异不显著, F (2, 45) = 2.14, p = 0.130; 三组被试无关刺激诱发的 EPN 波幅之间的差异不显著, F (2, 45) = 2.71, p = 0.077。

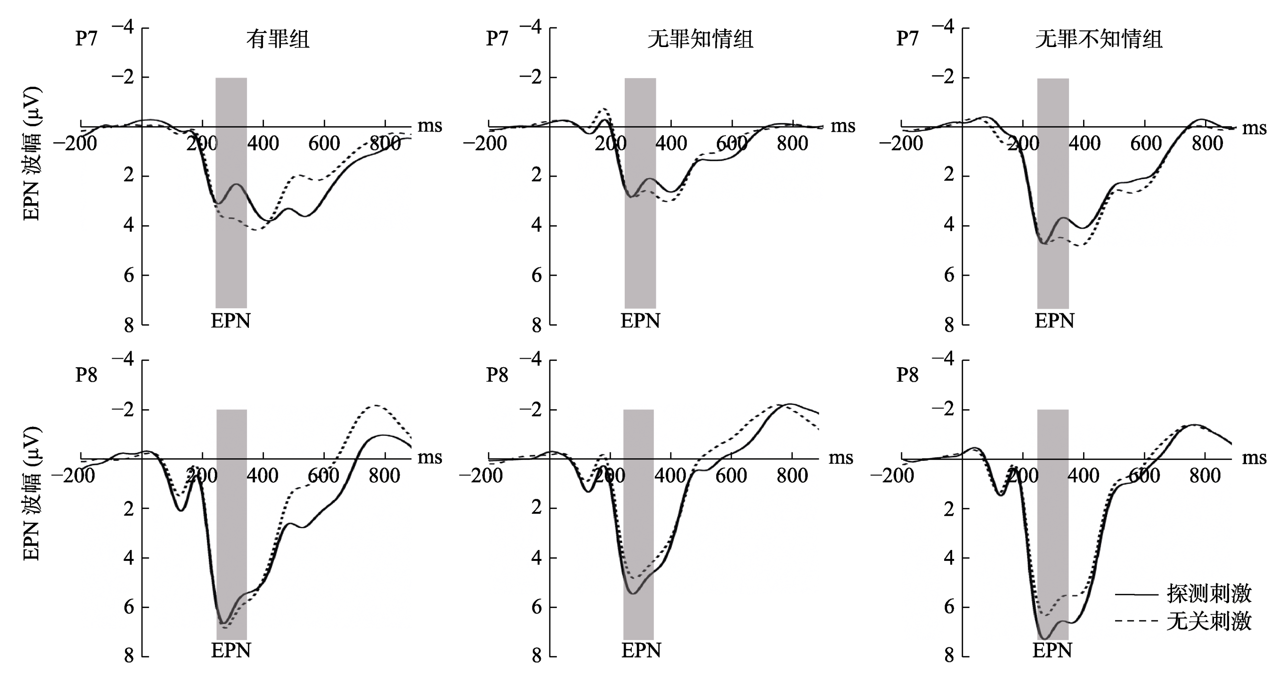


图 4 三组被试探测刺激与无关刺激诱发的 EPN 的总平均 ERP

对电极位置和刺激类型的交互效应进行简单效应分析，结果发现：在 P7 电极点，探测刺激诱发的 EPN 波幅(3.05 μV, [2.32, 3.78])显著高于无关刺激诱发的 EPN 波幅(3.69 μV, [2.98, 4.41]), F (1, 47) = 17.08, p < 0.001, η_p^2 = 0.27；在 P8 电极点，探测刺激(6.01 μV, [5.11, 6.90])与无关刺激(5.62 μV, [4.82, 6.42])诱发的 EPN 波幅之间无显著差异, F (1, 47) = 3.12, p = 0.084。探测刺激在 P7 电极点诱发的 EPN 波幅(3.05 μV, [2.32, 3.78])显著高于在 P8 电极点诱发的 EPN 波幅(6.01 μV, [5.11, 6.90]), F (1, 47) = 45.57, p < 0.001, η_p^2 = 0.49；无关刺激在 P7 电极点诱发的 EPN 波幅(3.69 μV, [2.98, 4.41])显著高于在 P8 电极点诱发的 EPN 波幅(5.62 μV, [4.82, 6.42]), F (1, 47) = 24.76, p < 0.001, η_p^2 = 0.35。

3.3.2 BSDF-EPN

对 BSDF-EPN 进行单因素(组别：有罪组、无罪知情组、无罪不知情组)的方差分析，结果表明：组别主效应边缘显著, F (2, 45) = 2.90, p = 0.065, η_p^2 = 0.11，有罪组的 BSDF-EPN (0.64 μV, [0.13, 1.15])边缘显著大于无罪知情组的 BSDF-EPN (−0.06 μV, [−0.57, 0.45]), p = 0.056；有罪组的 BSDF-EPN (0.64 μV, [0.13, 1.15])显著大于无罪不知情组的 BSDF-EPN (−0.15 μV, [−0.66, 0.36]), p = 0.034；无罪知情组(−0.06 μV, [−0.57, 0.45])与无罪不知情组(−0.15 μV, [−0.66, 0.36]) BSDF-EPN 之间的差异不显著, p = 0.817。

3.3.3 BSIT-EPN

对 BSIT-EPN 进行单因素(组别：有罪组、无罪知情组、无罪不知情组)的方差分析，结果表明：组别主效应显著, F (2, 45) =3.87, p = 0.028, η_p^2 = 0.15，有罪组的 BSIT-EPN (698.06, [532.98, 863.14]) 显著大于无罪知情组的 BSIT-EPN (420.31, [255.23, 585.39]), p =0.021；有罪组的 BSIT-EPN (698.06, [532.98, 863.14]) 显著大于无罪不知情组的 BSIT-EPN (417.13, [252.05, 582.21]), p = 0.019；无罪知情组(420.31, [255.23, 585.39])与无罪不知情组(417.13, [252.04, 582.21]) BSIT-EPN 之间的差异不显著, p = 0.978。

3.4 个体诊断

3.4.1 基于探测刺激和无关刺激诱发的 P300 所做的个体诊断

如前所述(见 2.6.3)，如果某受测者 BSIT-P300 > 900，可认为该受测者为“有罪者”。根据这个标准，有罪组、无罪知情组和无罪不知情组分别有 13 名、12 名和 1 名被试被检测为“有罪者”。对“有罪者”的检出率进行卡方检验，结果发现：组别主效应显著, χ^2(2, N = 48) = 22.32, p < 0.001。事后比较发现，有罪组与无罪知情组“有罪者”的检出率无显著性差异, χ^2(1, N = 32) = 0.18, p = 0.669；有罪组“有罪者”的检出率显著高于无罪不知情组, χ^2(1, N = 32) = 18.29, p < 0.001；无罪知情组“有罪者”的检出率显著高于无罪不知情组, χ^2(1, N = 32) = 15.68, p < 0.001。

3.4.2 基于探测刺激和无关刺激诱发的 EPN 所做的个体诊断

如前所述(见 2.6.3)，如果某受测者 BSIT-EPN > 900，可认为该受测者为“有罪者”。根据这个标准，有罪组、无罪知情组和无罪不知情组分别有 7 名、2 名和 1 名被试被检测为“有罪者”。对“有罪者”的检出率进行卡方检验，结果表明：组别主效应显著, χ^2 (2, N = 48) = 7.83, p = 0.020。事后比较发现，有罪组“有罪者”的检出率显著高于无罪知情组, χ^2 (1, N = 32) =3.87, p = 0.049；有罪组“有罪者”的检出率显著高于无罪不知情组, χ^2 (1, N = 32) = 6.00, p = 0.014；无罪知情组与无罪不知情组“有罪者”的检出率之间无显著性差异, χ^2 (1, N=32) = 0.37, p = 0.544。

3.5 ROC 曲线下的面积

为明确 P300 和 EPN 指标区分有罪者、无罪知情者和无罪不知情者的鉴别力，绘制操纵者特征曲线(receiver operating characteristic curve, ROC)并计算 P300 和 EPN 指标的 ROC 曲线下面积(area under the curve, AUC)。AUC 值越大，表明区分效果越好(Lee et al., 2007)。

图 5a 是 BSIT-P300 的 ROC 曲线。BSIT-P300 鉴别有罪组和无罪不知情组的 AUC 为 0.922，显著大于 0.5, p < 0.001; BSIT-P300 鉴别无罪知情组和无罪不知情组的 AUC 为 0.859，显著大于 0.5, p < 0.05; BSIT-P300 鉴别有罪组和无罪知情组的 AUC 为 0.605，与 0.5 之间的差异不显著, p > 0.05 (见表 2)。

图 5b 是 BSIT-EPN 的 ROC 曲线。BSIT-EPN 鉴别有罪组和无罪知情组的 AUC 为 0.721，显著大于 0.5, p < 0.05; BSIT-EPN 鉴别有罪组和无罪不知情组的 AUC 为 0.770，显著大于 0.5, p < 0.05; BSIT-EPN 鉴别无罪知情组和无罪不知情组的 AUC 为 0.516，与 0.5 之间的差异不显著, p > 0.05 (见表 2)。

3.6 自己名字和他人名字诱发的 EPN 波幅

图 6 为三组被试自己名字和他人名字诱发的

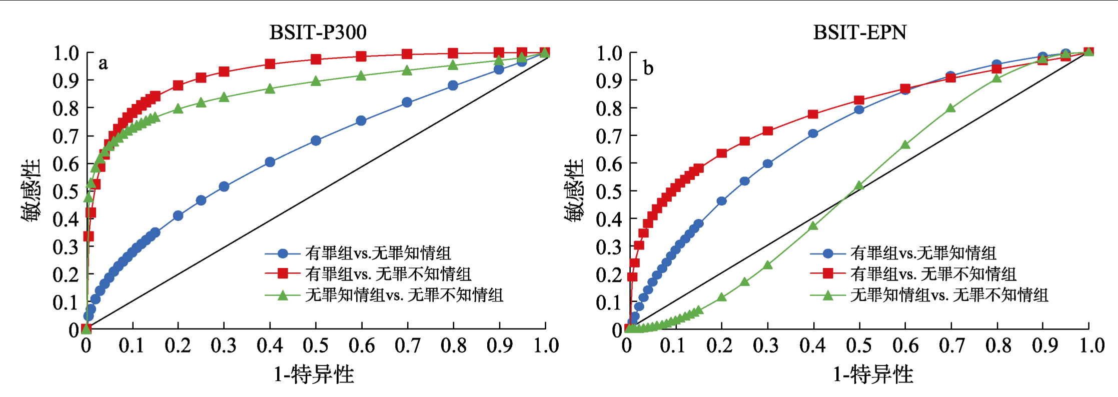


图 5 BSIT-P300 (图 5a)和 BSIT-EPN (图 5b)的 ROC 曲线(对角线表示随机水平 0.5)

表 2 P300 和 EPN 的 AUC

个体诊断指标	有罪组 *vs.* 无罪知情组			有罪组 *vs.* 无罪不知情组			无罪知情组 *vs.* 无罪不知情组		
	AUC	95% CI	*p*	AUC	95% CI	*p*	AUC	95% CI	*p*
BSIT-P300	0.605	0.406~0.805	0.309	0.922	0.832~1.000	<0.001	0.859	0.718~1.000	0.001
BSIT-EPN	0.721	0.538~0.903	0.033	0.770	0.604~0.936	0.009	0.516	0.309~0.722	0.880

EPN 的总平均 ERP。由图可见，在 P7、P8 电极点，刺激呈现后的 170~270 ms 内出现了 EPN。

对名字诱发的 EPN 波幅进行 2(刺激类型：自己名字、他人名字) × 2(电极位置：P7、P8)× 3(组别：有罪组、无罪知情组、无罪不知情组)的三因素重复测量方差分析，结果表明：刺激类型主效应显著，F (1, 45) = 33.48, p < 0.001, η_p^2 = 0.43，自己名字诱发的 EPN 波幅(−0.29 μV, [−0.86, 0.29])显著高于他人名字诱发的 EPN 波幅(0.41 μV, [−0.11, 0.93])；电极位置主效应不显著，F (1, 45) = 0.50, p = 0.485, P7 电极点(0.18 μV, [−0.32, 0.68])与 P8 电极点(−0.05 μV, [−0.78, 0.68]) EPN 波幅之间的差异不显著；组别主效应不显著，F (2, 45) = 0.23, p = 0.795，有罪组(0.26 μV, [−0.67, 1.19])、无罪知情组(−0.18 μV, [−1.11, 0.75])与无罪不知情组(0.11 μV, [−0.82, 1.04]) EPN 波幅之间的差异不显著。电极位置与刺激类型之间的交互作用显著，F (1, 45) = 5.84, p = 0.020, η_p^2 = 0.12；电极位置与组别之间的交互作用不显著，F (2, 45) =1.47, p = 0.242；刺激类型与组别之间的交互作用不显著，F (2, 45) = 0.02, p = 0.976；

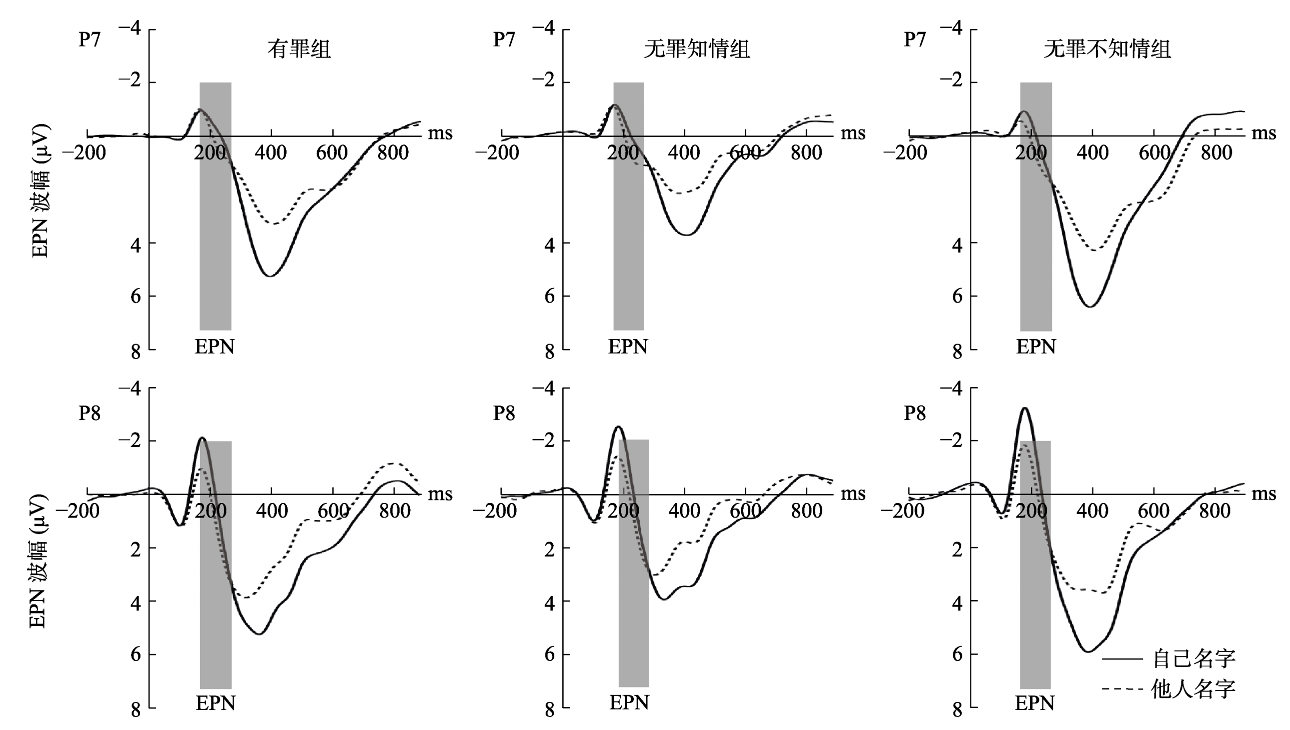


图 6 三组被试自己名字和他人名字诱发的 EPN 的总平均 ERP

电极位置、刺激类型与组别之间的交互作用不显著, F (2, 45) = 0.13, p = 0.880。

对刺激类型与电极位置进行简单效应分析。结果发现: 在 P7 电极点, 自己名字诱发的 EPN 波幅(−0.06 μV, [−0.64, 0.52])显著高于他人名字诱发的 EPN 波幅(0.41 μV, [−0.05, 0.87]), F (1, 47) = 9.98, p = 0.003, η_p^2 = 0.18; 在 P8 电极点, 自己名字诱发的 EPN 波幅(−0.51 μV, [−1.28, 0.26])显著高于他人名字诱发的 EPN 波幅(0.41 μV, [−0.31, 1.14]), F (1, 47) = 38.57, p < 0.001, η_p^2 = 0.45。自己名字在 P7 电极点(−0.06 μV, [−0.64, 0.52])与 P8 电极点(−0.51 μV, [−1.28, 0.26])诱发的 EPN 波幅之间无显著性差异, F (1, 47) = 1.59, p = 0.213; 他人名字在 P7 电极点(0.41 μV, [−0.05, 0.87])与 P8 电极点(0.41 μV, [−0.31, 1.14])诱发的 EPN 波幅之间无显著性差异, F (1, 47) = 0.00, p = 0.998。

对 P7 和 P8 电极点自己名字与他人名字诱发的 EPN 波幅的差异进行配对样本 t 检验, 结果发现: P7 电极点 EPN 波幅的差异(0.47 ± 1.04 μV)显著小于 P8 电极点 EPN 波幅的差异(0.92 ± 1.03 μV), t (47)= −2.46, p = 0.017, 95% CI =[−0.82, −0.08], Cohen's d = 0.44。

4　讨论

由于经典 CTP 检测的是犯罪嫌疑人识别犯罪相关信息时产生的生理反应, 因此, 通常很难区分有罪者和无罪知情者(Winograd & Rosenfeld, 2014)。本研究试图解决这一问题, 设计了一种新的基于自我参照编码的 CTP。

4.1　基于自我参照编码的 CTP 与经典 CTP 的区别

在基于自我参照编码的 CTP 中, 第一部分随机呈现探测刺激或无关刺激, 第二部分随机呈现自己姓名或他人姓名, 均要求被试做"与我有关"或"与我无关"的反应。被试被告知: "如果你偷了某物品, 电脑上呈现它的图片时, 你要否认这件物品与你有关, 否则你会被检测为有罪, 得不到奖金。如果你没偷任何物品, 要根据真实情况按键, 才会被检测为无罪, 才能得到奖金。"在这种情况下, 有罪组被试为了不被检测出来而获得奖金, 看见探测刺激时会做"与我无关"的反应(撒谎), 看见无关刺激时也会做"与我无关"的反应(诚实); 无罪知情组和无罪不知情组被试看见探测刺激或无关刺激时都会如实做"与我无关"的反应。可见, 这些反应与真正测谎时受测者的反应一致, 具有较高的生态学效度。但由于三组被试在第一部分均做"与我无关"的反应, 不集中注意力也能完成这个简单的觉察任务, 因此, 基于自我参照编码的 CTP 设置了第二部分的辨别任务, 主试还随时停止测试 8~10 次, 检查被试是否看清了每张图片和名字, 保证被试在整个测试过程中能集中注意力。另外, 本研究创新性地将经典 CTP 第二部分的目标刺激("11111")或非目标刺激("22222", "33333", "44444"或"55555")改为目标刺激(自己名字)或非目标刺激(他人名字), 不仅可维持被试的注意力, 由于被试在第一部分和第二部分均做"与我有关"和"与我无关"的反应, 可避免任务转换消耗被试的注意资源, 提高测谎的准确性。

4.2　有罪组的探测刺激产生自我参照效应

我们预期, 给有罪组被试呈现探测刺激时可出现自我参照效应, 给无罪知情组和无罪不知情组被试呈现探测刺激时不会出现自我参照效应。

研究结果证实了实验预期, 我们发现: 有罪组探测刺激诱发的 EPN 波幅显著高于无关刺激诱发的 EPN 波幅; 无罪知情组和无罪不知情组探测刺激与无关刺激诱发的 EPN 波幅之间的差异不显著。原因如下: (1) 有罪组被试去办公室偷戒指, 亲身经历了偷窃过程, 对戒指进行了与自我表征相联系的自动化加工即自我参照编码(Northoff et al., 2006)。另外, 主试二通过指导语告诉有罪组被试"如果你偷了某物品, 该物品就与你有关"。因此, 尽管有罪组被试对探测刺激做的是"与我无关"的欺骗反应, 仍然激活了与自我相关的探测刺激的表征, 产生了明显的自我参照效应。(2) 无罪知情组被试被要求去办公室帮主试一取回戒指, 他们知道这枚戒指是别人的, 而个体只有加工属于自己的物品时才表现出较大的记忆优势(Cunningham et al., 2013), 并产生自我参照效应(Kalenzaga et al., 2015)。另外, 主试二还通过指导语告诉无罪知情组被试: "如果你没偷某物品, 即使见过或拿过它, 它仍然与你无关"。因此, 给无罪知情组被试呈现探测刺激时不会产生明显的自我参照效应。(3) 无罪不知情组被试不知道犯罪相关信息, 犯罪相关信息对他们也无特殊意义, 所以, 给他们呈现探测刺激时, 不会产生自我参照效应。

本研究反应时与脑诱发电位的结果可相互印证。我们发现, 三组被试探测刺激和无关刺激反应时之间的差异均不显著。这主要是因为: (1) 一方面, 给有罪组被试呈现探测刺激时产生了自我参照效

应，有罪组被试对探测刺激的反应速度应该快于无关刺激。但另一方面，有罪组被试看见探测刺激时，需要做“与我无关”的欺骗反应才能不被检测出来，此时存在认知和反应冲突，对无关刺激做“与我无关”的诚实反应时不存在认知和反应冲突，这又会导致有罪组被试对探测刺激的反应速度慢于对无关刺激的反应速度。两方面因素的影响相互抵消，有罪组被试探测刺激与无关刺激反应时之间的差异就不显著。(2) 另一方面，给无罪知情组和无罪不知情组被试呈现探测刺激时没有产生自我参照效应。另外，这两组被试对探测刺激和无关刺激做“与我无关”的诚实反应时，均不存在认知和反应冲突。因此，这两组被试探测刺激与无关刺激反应时之间的差异均不显著。

4.3 基于自我参照编码的 CTP 能有效鉴别有罪者和无罪知情者

在司法实践中，调查人员有时需利用测谎方法鉴别有罪者和无罪不知情者，有时需鉴别有罪者和无罪知情者。如果一个范式既可以有效鉴别有罪者和无罪不知情者，又可以鉴别有罪者和无罪知情者，那么，用这个范式测谎就非常方便。

虽然以往研究表明，测量 P300 的经典 CTP 区分有罪者和无罪不知情者的鉴别力可达 0.956 (Winograd & Rosenfeld, 2014)，但基于自我参照编码的 CTP 不同于经典 CTP，这个范式区分有罪者和无罪不知情者的鉴别力需要明确。因此，本研究进行了基于 P300 的个体诊断，诊断标准是：重复 Bootstrap 抽样过程 1000 次时，探测刺激 P300 波幅大于无关刺激 P300 波幅的次数需要超过 900 次 (BSIT-P300 > 900)，才可诊断该受测者为“有罪者” (Davydova et al., 2020; Deng et al., 2016; Lu et al., 2017; Sai et al., 2020; Zheng et al., 2019)。另外，基于自我参照编码的 CTP 还测量了 EPN，参照 P300 的研究经验，我们设定了基于 EPN 的个体诊断标准：重复 Bootstrap 抽样过程 1000 次时，如果探测刺激平均 EPN 波幅大于无关刺激平均 EPN 波幅的次数超过 900 次(BSIT-EPN > 900)，就可诊断该受测者为“有罪者”。

我们预测：EPN 区分有罪者和无罪知情者的鉴别力优于 P300，P300 区分有罪者和无罪不知情者的鉴别力优于 EPN，基于自我参照编码的 CTP 能有效区分有罪者和无罪知情者。研究结果证实了这些实验预期。

我们发现，BSIT-P300 鉴别有罪组和无罪不知情组的 AUC 为 0.922，显著高于机会水平(0.5)，这表明尽管基于自我参照编码的 CTP 不同于经典的 CTP，但 P300 仍然可以很好地鉴别有罪组和无罪不知情组。BSIT-P300 鉴别有罪组和无罪知情组的 AUC 为 0.605，与机会水平之间的差异不显著，检测无罪知情组的假阳性率达到 75% (12/16)，这表明 P300 无法有效区分有罪组和无罪知情组。BSIT-P300 鉴别无罪知情组和无罪不知情组的 AUC 为 0.859，显著高于机会水平，这表明 P300 容易将无罪知情组误判为有罪组。由上可见，在基于自我参照编码的 CTP 中，如果使用 P300 进行个体诊断，该范式的检测效果与 Winograd 和 Rosenfeld (2014)使用经典 CTP 检测的效果基本一致。

而使用 EPN 进行个体诊断时，BSIT-EPN 区分有罪组和无罪不知情组的 AUC 仅为 0.770，显著高于机会水平，对有罪者和无罪不知情者的鉴别力明显弱于 P300。但 BSIT-EPN 鉴别无罪知情组和无罪不知情组的 AUC 为 0.516，与机会水平之间的差异不显著，这表明 EPN 不容易将无罪知情者误判为有罪者。更重要的是，BSIT-EPN 鉴别有罪组和无罪知情组的 AUC 为 0.721，显著高于机会水平，检测无罪知情组的假阳性率下降至 12.5% (2/16)，这表明 EPN 区分有罪者和无罪知情者的鉴别力优于 P300，这个检测效果优于迄今为止在学术期刊上公开发表的采用 ERP-CTP 区分有罪者和无罪知情者的两项研究(Rosenfeld, Ozsan, et al., 2017; Winograd & Rosenfeld, 2014)。

当然，我们要注意，虽然 EPN 对有罪组和无罪知情组的鉴别力只有 0.721，但是今后有极大的提升空间。原因如下：(1) 本研究中的有罪组被试不是真正的罪犯，他们在普通的实验室中完成模拟犯罪任务，沉浸感、唤醒度和卷入度不高，对戒指的自我参照编码程度低于在仿真或真实犯罪现场中的编码程度。(2) 本研究仅以图片形式呈现探测刺激，如果能将探测刺激图片与自我相关的句子联合呈现，有可能进一步提高有罪组被试的自我参照编码程度(Hu et al., 2015)。(3) 本研究中的无罪知情组被试得知犯罪相关信息的途径是去办公室帮主试取回戒指，虽然他们知道戒指是别人的，主试也告诉他们 “如果你没偷某物品，即使见过或拿过它，它仍然与你无关”，但他们毕竟亲自去办公室拿过戒指，因此，给这类无罪知情者呈现探测刺激时，仍有可能诱发一定程度的自我参照效应。但给通过其他途径(看电视新闻、读报纸、目击犯罪现场等)

得知犯罪相关信息的无罪知情者呈现探测刺激时，产生自我参照效应的可能性较小，基于自我参照编码的 CTP 鉴别有罪者和这些无罪知情者的鉴别力应该高于 0.721。

综上所述，使用基于自我参照编码的 CTP 测谎时，如果需要鉴别有罪者和无罪不知情者，建议使用 P300；如果需要鉴别有罪者和无罪知情者，建议使用 EPN。

当然，本研究设置的有罪组被试完成模拟犯罪任务后立即接受测试，但在现实生活中，许多罪犯往往不是立即被抓获，时间延迟是否会对罪犯犯罪相关信息的自我参照效应产生影响有待研究。

4.4 不同类型的自我相关信息产生自我参照效应的脑机制可能不同

本研究发现，P7 电极点探测刺激诱发的 EPN 波幅显著高于无关刺激诱发的 EPN 波幅，P8 电极点探测刺激与无关刺激诱发的 EPN 波幅之间的差异不显著，这表明探测刺激诱发的自我参照效应在左侧枕颞区比较明显。这与 Klein 等人(2015)的研究结果不一致，他们发现，与自我相关的面孔刺激诱发的自我参照效应在右侧枕颞区比较明显。有趣的是，本研究对 P7 和 P8 电极点自己名字与他人名字诱发的 EPN 波幅的差异进行配对样本 *t* 检验后发现，P7 电极点 EPN 波幅的差异显著小于 P8 电极点 EPN 波幅的差异，这表明名字诱发的自我参照效应在大脑右侧枕颞区比较明显，这与 Klein 等人(2015)的研究结果一致。

这些结果似乎表明，自己的名字与面孔属于相同类型的自我相关信息，而探测刺激不同于自己的名字和面孔，不同类型的自我相关信息产生自我参照效应的脑机制可能不同，这有待于今后进一步验证。

5 结论

基于自我参照编码的 CTP 能有效鉴别有罪者和无罪知情者。使用该范式测谎时，如果只需要鉴别有罪者和无罪不知情者，推荐采用 P300 做个体诊断；如果需要鉴别有罪者和无罪知情者，推荐采用 EPN 做个体诊断。

参 考 文 献

Ben-Shakhar, G. (2012). Current research and potential applications of the Concealed Information Test: An overview. *Frontiers in Psychology, 3*(342), 1–11.

Bradley, M. T., Barefoot, C. A., & Arsenaul, A. M. (2011). Leakage of information to innocent suspects. In B. Verschuere, G. Ben-Shakhar & E. Meijer (Eds.), *Memory detection: Theory and application of the Concealed Information Test* (pp. 187–199). New York: Cambridge University Press.

Bradley, M. T., Maclaren, V. V., & Carle, S. B. (1996). Deception and nondeception in guilty knowledge and guilty actions polygraph tests. *Journal of Applied Psychology, 81*(2), 153–160.

Bradley, M. T., & Warfield, J. F. (1984). Innocence, information, and the Guilty Knowledge Test in the detection of deception. *Psychophysiology*, *21*(6), 683–689.

Cabeza, R., & St Jacques, P. (2007). Functional neuroimaging of autobiographical memory. *Trends in Cognitive Sciences, 11*(5), 219–227.

Cunningham, J. B., & McCrum-Gardner, E. (2007). Power, effect and sample size using gpower: Practical issues for researchers and members of research ethics committees. *Evidence Based Midwifery, 5*(4), 132–136.

Cunningham, S. J., Vergunst, F., Macrae, C. N., & Turk, D. J. (2013). Exploring early self-referential memory effects through ownership. *British Journal of Developmental Psychology, 31*(3), 289–301.

Davydova, E., Rosenfeld, J. P., & Labkovsky, E. (2020). Necessity of the target discrimination in the P300 - based Complex Trial Protocol Test for concealed information. *Psychophysiology*, *57*(5), 1–10.

Deng, X., Rosenfeld, J. P., Ward, A., & Labkovsky, E. (2016). Superiority of visual (verbal) vs. auditory test presentation modality in a P300-based CIT: The Complex Trial Protocol for concealed autobiographical memory detection. *International Journal of Psychophysiology, 105,* 26–34.

Elaad, E., & Ben-Shakhar, G. (1989). Effects of motivation and verbal response type on psychophysiological detection of information. *Psychophysiology*, *26*(4), 442–451.

Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A.-G., & Buchner, A. (2007). G*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods Instruments & Computers, 39*(2), 175–191.

Gamer, M. (2010). Does the Guilty Actions Test allow for differentiating guilty participants from informed innocents? A re-examination. *International Journal of Psychophysiology*, *76*(1), 19–24.

Giesen, M., & Rollison, M. A. (1980). Guilty knowledge versus innocent associations: Effects of trait anxiety and stimulus context on skin conductance. *Journal of Research in Personality*, *14*(1), 1–11.

Honts, C. R., Devitt, M. K., Winbush, M., & Kircher, J. C. (1996). Mental and physical countermeasures reduce the accuracy of the concealed knowledge test. *Psychophysiology, 33*(1), 84–92.

Hu, X., Bergström, Z. M., Bodenhausen, G. V., & Rosenfeld, J. P. (2015). Suppressing unwanted autobiographical memories reduces their automatic influences: Evidence from electrophysiology and an implicit autobiographical memory test. *Psychological Science, 26*(7), 1098–1106.

Hu, X., & Rosenfeld, J. P. (2012). Combining the P300-complex trial-based Concealed Information Test and the reaction time-based autobiographical Implicit Association Test in concealed memory detection. *Psychophysiology, 49*(8), 1090–1100.

Kalenzaga, S., Sperduti, M., Anssens, A., Martinelli, P., Devauchelle, A. D., Gallarda, T., ... Piolino, P. (2015). Episodic memory and self-reference via semantic autobiographical memory: Insights from an fMRI study in younger and older adults. *Frontiers in Behavioral Neuroscience, 8*(449), 1–12.

Klein, F., Iffland, B., Schindler, S., Wabnitz, P., & Neuner, F. (2015). This person is saying bad things about you: The influence of physically and socially threatening context information on the processing of inherently neutral faces. *Cognitive, Affective & Behavioral Neuroscience, 15*(4), 736–748.

Klein Selle, N., Verschuere, B., Kindt, M., Meijer, E., & Ben-Shakhar, G. (2017). Unraveling the roles of orienting and inhibition in the Concealed Information Test. *Psychophysiology*, *54*(4), 628–639.

Lee, W. H., Gader, P. D., & Wilson, J. N. (2007). Optimizing the area under a receiver operating characteristic curve with application to landmine detection. *IEEE Transactions on Geoscience & Remote Sensing, 45*(2), 389–397.

Li, S., Zhu, X., Ding, R., Ren, J., & Luo, W. (2019). The effect of emotional and self-referential contexts on ERP responses towards surprised faces. *Biological Psychology*, *146*, 107728.

Lu, Y., Rosenfeld, J. P., Deng, X., Zhang, E., Zheng, H., Yan, G., ... Hayat, S. Z. (2017). Inferior detection of information from collaborative versus individual crimes based on a P300 Concealed Information Test. *Psychophysiology, 55*(4), 1–13.

Meijer, E. H., Klein Selle, N., Elber, L., & Ben-Shakhar, G. (2014). Memory detection with the Concealed Information Test: A meta analysis of skin conductance, respiration, heart rate, and P300 data. *Psychophysiology, 51*(9), 879–904.

Nahari, G., & Ben-Shakhar, G. (2011). Psychophysiological and behavioral measures for detecting concealed information: The role of memory for crime details. *Psychophysiology,* 48(6), 733–744.

Northoff, G., Heinzel, A., de Greck, M., Bermpohl, F., Dobrowolny, H., & Panksepp, J. (2006). Self-referential processing in our brain–A meta-analysis of imaging studies on the self. *Neuroimage, 31*(1), 440–457.

Osugi, A. (2018). Field findings from the Concealed Information Test in Japan. In J. P. Rosenfeld (Ed.). *Detecting concealed information and deception: Recent developments* (pp. 97–121). USA: Cambridge: Academic Press.

Rosenfeld, J. P. (2011). P300 in detecting concealed information. In B. Verschuere, G. Ben-Shakhar & E. Meijer (Eds.). *Memory detection: Theory and application of the concealed information test* (pp. 63–89). New York: Cambridge University Press.

Rosenfeld, J. P. (2019). P300 in detecting concealed information and deception: A review. *Psychophysiology*, *57*(7), e13362.

Rosenfeld, J. P., Angell, A., Johnson, M., & Qian, J. H. (1991). An ERP-based, control-question lie detector analog: Algorithms for discriminating effects within individuals' average waveforms. *Psychophysiology, 28*(3), 319–335.

Rosenfeld, J. P., Cantwell, B., Nasman, V. T., Wojdac, V., Ivanov, S., & Mazzeri, L. (1988). A modified, event-related potential-based Guilty Knowledge Test. *International Journal of Neuroscience, 42*(1-2), 157–161.

Rosenfeld, J. P., & Donchin, E. (2015). Resampling (bootstrapping) the mean: A definite do: Resampling the mean. *Psychophysiology, 52*(7), 969–972.

Rosenfeld, J. P., Hu, X., Labkovsky, E., Meixner, J., & Winograd, M. R. (2013). Review of recent studies and issues regarding the P300-based Complex Trial Protocol for detection of concealed information. *International Journal of Psychophysiology, 90*(2), 118–134.

Rosenfeld, J. P., Labkovsky, E., Winograd, M., Lui, M. A., Vandenboom, C., & Chedid, E. (2008). The Complex Trial Protocol (CTP): A new, countermeasure-resistant, accurate, P300-based method for detection of concealed information. *Psychophysiology, 45*(6), 906–919.

Rosenfeld, J. P., Ozsan, I., & Ward, A. C. (2017). P300 amplitude at Pz and N200/N300 latency at F3 differ between participants simulating suspect versus witness roles in a mock crime. *Psychophysiology, 54*(5), 640–648.

Rosenfeld, J. P., Sitar, E., Wasserman, J., & Ward, A. (2018). Moderate financial incentive does not appear to influence the P300 Concealed Information Test (CIT) effect in the Complex Trial Protocol (CTP) version of the CIT in a forensic scenario, while affecting P300 peak latencies and behavior. *International Journal of Psychophysiology, 125*(2018), 42–49.

Rosenfeld, J. P., Ward, A., Drapekin, J., Labkovsky, E., & Tullman, S. (2017). Instructions to suppress semantic memory enhances or has no effect on P300 in a Concealed Information Test (CIT). *International Journal of Psychophysiology, 113*(2017), 29–39.

Rosenfeld, J. P., Ward, A., Meijer, E. H., & Yukhnenko, D. (2016). Bootstrapping the P300 in diagnostic psychophysiology: How many iterations are needed? *Psychophysiology*, *54*(3), 366–373.

Sai, L., Li, H., Wang, C., Rosenfeld, J. P., Lin, X., & Fu, G. (2020). Feedback does not influence the recognition-related P300 in a novel concealed information test while feedback-evoked P300 shows promising diagnostic accuracy. *International Journal of Psychophysiology*, *157*, 32–41.

Stern, R. M., Breen, J. P., Watanabe, T., & Perry, B. S. (1981). Effect of feedback of physiological information on responses to innocent associations and guilty knowledge. *Journal of Applied Psychology*, *66*(6), 677–681.

Turk, D. J., van Bussel, K., Waiter, G. D., & Macrae, C. N. (2011). Mine and me: Exploring the neural basis of object ownership. *Journal of Cognitive Neuroscience, 23*(11), 3657–3668.

Wieser, M. J., Gerdes, A. B., Bungel, I., Schwarz, K. A., Muhlberger, A., & Pauli, P. (2014). Not so harmless anymore: How context impacts the perception and electrocortical processing of neutral faces. *Neuroimage, 92*, 74–82.

Winograd, M. R., & Rosenfeld, J. P. (2014). The impact of prior knowledge from participant instructions in a mock crime P300 Concealed Information Test. *International Journal of Psychophysiology, 94*(3), 473–481.

Yang, X., Mao, X., Han, M., Li, X., & Guo, C. (2019). Electrophysiological evidence of encoding in self-referential effect. *NeuroReport*, *30*(13), 901–907.

Zheng, H., Rosenfeld, J. P., Deng, X., Lu, Y., Xue, C., Wang, Y., ... Ouyang, D. (2019). Visual presentation modality's superiority in the detection of concealed information: A comparison of the efficiencies of the P300-based Complex Trial Protocol in visual versus auditory modalities. *International Journal of Psychophysiology, 137*(2019), 32–40.

The Complex Trial Protocol based on self-referential encoding: Discriminating the guilty from the knowledgeable innocent

DENG Xiaohong[1], LI Ting[1], XUE Chao[1], J. Peter ROSENFELD[2], LU Yang[1], WANG Ying[1], ZHAN Xiaofei[1], YAN Gejun[1], OUYANG Dan[1]

([1] *Department of Psychology, Normal College, Hubei University, Wuhan* 430062, *China*)

([2] *Department of Psychology, Northwestern University, Evanston* IL60201, *USA*)

Abstract

The concealed information test (CIT) is a lie detection method, which can determine if a criminal suspect knows the crime-related information and then infer whether the suspect is guilty. The CIT has high internal validity but it is easy to misjudge an innocent person who knows the crime-related information as a guilty one. Therefore, it is necessary to improve CIT's detection accuracy for the guilty and the knowledgeable innocent persons. The complex trial protocol (CTP) is a modified CIT which can effectively resist countermeasures, but it hasn't been successfully applied to discriminate the guilty from the knowledgeable innocent.

The present study designed a novel CTP based on self-referential encoding, which measured the early posterior negativity (EPN) and P300. The probe or one of the irrelevant stimuli was randomly presented in the first phase of a trial, and the target (participant's name) or one of the non-targets (others' names) was randomly presented in the second phase of a trial. The participants needed to make self-related or self-unrelated responses in two phases when they saw the stimuli.

The results revealed that: (1) the area under the curve (AUC) for P300 to discriminate the guilty from the unknowledgeable innocent was 0.922, which was significantly higher than 0.5 (the chance level). The AUC for P300 to discriminate the guilty from the knowledgeable innocent was 0.605, which was not significantly different from 0.5, and the false positive rate of the knowledgeable innocent was 75%. The AUC for P300 to discriminate the knowledgeable innocent from the unknowledgeable innocent was 0.859, which was significantly higher than 0.5. (2) The AUC for EPN to discriminate the guilty from the unknowledgeable innocent was 0.770, and the AUC for EPN to discriminate the guilty from the knowledgeable innocent was 0.721. The two AUCs were significantly larger than 0.5. The false positive rate of the knowledgeable innocent was 12.5%. The AUC for EPN to discriminate the knowledgeable innocent from the unknowledgeable innocent was 0.516, which was not significantly different from 0.5.

In summary, the present study indicated that: (1) P300 can effectively discriminate the guilty from the unknowledgeable innocent, but can not effectively discriminate the guilty from the knowledgeable innocent. P300 is easy to misjudge the knowledgeable innocent as the guilty person. (2) The discrimination of EPN was weaker than that of P300 in discriminating the guilty from the unknowledgeable innocent. However, the discrimination of EPN was superior to that of P300 in discriminating the guilty from knowledgeable innocent. EPN is not easy to misjudge a knowledgeable innocent person as a guilty one. (3) When the CTP based on self-referential coding is applied to detect lies, P300 can be used to discriminate the guilty from the unknowledgeable innocent and EPN can be used to discriminate the guilty from the knowledgeable innocent.

Key words　self-referential encoding, complex trial protocol, knowledgeable innocent, EPN, P300